

**Національний технічний університет України**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені Ігоря Сікорського»**

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Ю.В.Петраков  
(ініціали, прізвище)  
“ \_\_\_\_ ” 20 \_\_\_\_ р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня**  
**магістра**

зі спеціальності **131. Прикладна механіка. Технології машинобудування**  
(код і назва спеціальності)

на тему \_\_\_\_\_ Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням \_\_\_\_\_

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МТ-91мп  
(шифр групи)

Румянцев Михайло Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник Зав. каф., д.т.н., професор, Петраков Ю.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені Ігоря Сікорського»**

**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

Кафедра технології машинобудування

Спеціальність **131. Прикладна механіка.**

Спеціалізація **Технології машинобудування**

(код і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Ю.В.Петраков

(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_»\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Румянцеву Михайлу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням

науковий керівник Петраков Юрій Володимирович, д.т.н., професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_»\_\_\_\_\_ 20\_\_ р. №\_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом закінченої дисертації «\_\_»\_\_\_\_\_ 20\_\_ р

3. Об'єкт дослідження процес фрезерування

4. Предмет дослідження сила різання

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Розробити математичну

модель процесу фрезерування, розробити програму моделювання  
фрезерування опукло-увігнутого контуру

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу рисунки, таблиці,  
формули

7. Орієнтовний перелік публікацій статті, тези конференцій

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вивчення сучасного стану проблеми (огляд літератури)		
2	Розробка прикладної програми моделювання фрезерування опукло- увігнутого контуру		
3	Моделювання процесу фрезерування опукло- увігнутого контуру		

Студент

(підпис)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

М.С. Румянцев

(ініціали, прізвище)

Ю.В. Петраков

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням» складається з 60 аркушів формату А4 та містить 27 ілюстрацій, 13 таблиць. При написанні роботи використано 20 літературних джерел серед яких методичні вказівки, довідники, посібники, наукові роботи, каталоги, статті.

Технологія з ЧПК в поєднанні з CAD / CAM давно допомагала досягти більшої ефективності у виробництві, але на даний час процес обробки є недостатньо ефективним. Сучасна технологія ЧПК спирається на введення відповідних параметрів різання технологом-програмістом - навіть при використанні САМ систем.

Механізми керування верстатами з ЧПК виконують попередньо задану геометричну траєкторією при постійній швидкості і подачі кожного кадру управляючої програми. Це було б доцільно, якщо умови різання були незмінними під час обробки.

**Мета роботи.** Розробити математичну модель процесу фрезерування по опукло-увігнутого контуру, встановити вплив керування подачею на силу різання та вплив керування подачею на висоту гребінця.

### **Завдання дослідження:**

1. Створити прикладну програму моделювання процесу фрезерування опукло-увігнутого контуру у часі.
2. Провести моделювання та порівняти вплив керування на силу різання та висоту гребінця.

**Об'єкт дослідження:** процес фрезерування.

**Предмет дослідження:** сила різання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В ході виконання дисертації було доведено, що управління процесом фрезерування за подачею має вагомий вплив на висоту гребінця.

**Публікації.** Основні положення дисертації було опубліковано в тезах Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні 2019» та в статті Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні 2020»

**Ключові слова.** СТАБІЛІЗАЦІЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ, УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РІЗАННЯ, ВІРТУАЛЬНЕ БАЗУВАННЯ, ФРЕЗЕРУВАННЯ КОНТУРУ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК, ПІДГОТОВКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ.

## ABSTRACT

The master's thesis 'Adaptive control of contour 2,5D milling' consists of 60 sheets of A4 format and contains 27 illustrations, 13 tables. 20 literature sources were used including guidelines, reference books, manuals, scientific papers, catalogs, articles.

CNC technology in combination with CAD/CAM has long helped to achieve greater efficiency in production, but currently the machining process is not efficient enough. Modern CNC technology is based on the introduction of appropriate cutting parameters by a technologist-programmer even while using CAM systems.

The control mechanisms of CNC machines perform a predetermined geometric trajectory at a constant speed and feed each frame of the control program. This would be appropriate if the cutting conditions were unchanged during machining.

**Purpose of work.** Develop a mathematical model of the milling process along a convex-concave contour, establish the influence of feed control on the cutting force and the influence of feed control on the height of the residual cross section.

### **Objectives of study:**

1. Create an application program for modeling the process of milling a convex-concave contour in time.
2. Model and compare the effect of control on the cutting force and the height of the residual cross section.

**Object of research:** milling process.

**Subject of research:** cutting force.

**Scientific novelty of obtained results.** In the thesis it was proved that the control of the feed milling process has a significant impact on the height of the residual cross section.

**Publications.** The main provisions of the thesis were published in the abstracts of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students ‘Youth Innovations in Mechanical Engineering 2019’ and in the article of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students ‘Youth Innovations in Mechanical Engineering 2020’.

**Keywords.** STABILIZATION OF MILLING, CONTROL OF THE CUTTING PROCESS, VIRTUAL BASING, MILLING OF THE CONTOUR ON THE CNC MACHINE, PREPARATION OF THE CONTROL PROGRAM.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
Розділ 1. Аналіз розробок з адаптивного управління.....	12
1.1 Адаптивне управління процесом різання.....	12
1.2 Висновки .....	16
Розділ 2. Розробка математичної моделі процесу фрезерування .....	17
2.1 Математична модель процесу фрезерування .....	17
2.2 Метод визначення шорсткості .....	23
2.3 Опис програми моделювання .....	26
2.4 Моделювання процесу .....	29
2.5 Висновки .....	31
Розділ 3. Алгоритм віртуального базування 2D заготовок на фрезерному верстаті з ЧПК .....	32
3.1 Вступ .....	32
3.2 Аналіз виконаних досліджень.....	32
3.3 Основний зміст .....	33
3.4 Висновки .....	37
Розділ 4. Розробка стартап-проекту .....	38
4.1 Вступ до розробки стартап-проекту .....	38



4.2 Опис ідеї стартап-проекту.....	39
4.3 Організаційна структура проекту. Декомпозиція проекту.....	39
4.3 Керівник проекту.....	41
4.4 Календарний план проекту .....	43
4.5 Витрати на проект. Кошторис та бюджет проекту .....	45
4.6 Управління командою проекту.....	47
4.7 Реєстр ризиків проекту. План управління ризиками .....	48
4.8 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	48
4.9 Висновки .....	56
ВИСНОВКИ .....	57
Список використаних джерел.....	58

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

$\omega_c$  кутова швидкість обертання заготовки

$\omega_\phi$  кутова швидкість обертання фрези

$R_\phi$  радіус фрези

$R_c$  радіус заготовки

$t$  час

$S$  хвилинна подача

$S_z$  подача на зуб

$U$  швидкість обертання фрези

$P_o$  окружна сила різання

## ВСТУП

Обробка за допомогою верстатів з ЧПК може бути повністю оптимізована за рахунок створення адаптивних систем управління, які постійно стабілізують процес різання до заданого рівня.

Ідея стабілізації процесу різання за допомогою замкнених систем автоматичного управління (САУ) була реалізована вченими школи Б. С. Балакшина ще у 80-ті роки минулого сторіччя [1].

Технологія з ЧПК в поєднанні з CAD / CAM давно допомагала досягти більшої ефективності у виробництві, але на даний час процес обробки є недостатньо ефективним. Сучасна технологія ЧПК спирається на введення відповідних параметрів різання технологом-програмістом - навіть при використанні CAM систем.

Механізми керування верстатами з ЧПК виконують попередньо задану геометричну траєкторією при постійній швидкості і подачі кожного кадру управляючої програми. Це було б прийнятно, якщо умови різання були незмінними під час обробки.

## **РОЗДІЛ 1**

### **Розділ 1. Аналіз розробок з адаптивного управління**

#### **1.1 Адаптивне управління процесом різання**

Теорія автоматичного управління доводить, що [2] є три методи управління - за апіорною, поточною та апостеріорною інформацією.

Управління за апіорною інформацією базується на підготовці вхідних даних та оптимізацією їх з урахуванням математичної моделі. Реалізація даного методу можлива на основі САМ-систем. Наприклад, даний метод був реалізований на кафедрі «Технології машинобудування» НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ще у 2010 році[3]. А також в програмному продукті SolidCAM iMashing, який позиціонує себе єдиною САМ системою з такими можливостями.

Управління за поточною інформацією базується на безпосередньому «спілкуванні» з верстатом, тобто за рахунок зворотного зв'язку. Наприклад, даний метод використовується наступними компаніями:

#### **Omatic System**

Наразі фірма Omatic System США [4] пропонує систему, побудовану на використанні поточної інформації, реалізовану на сучасному рівні для верстатів із ЧПК. Оскільки застосовується поточне управління безпосередньо через систему ЧПК і контролери приводів, фірма розробила різні версії, адаптовані до систем верстатів провідних виробників: Siemens, Fanuc, Heidenhain.

Перевага запропонованих технічних рішень полягає у тому, що процес оброблення складних поверхонь фрезеруванням є квазістаціонарним, потребує постійного управління, а управління за поточною інформацією виконує його стабілізацію і надає вигоду у часі [5].

Фірмою запропоноване керування з метою стабілізації за одним каналом, а саме, повздовжньою подачею (Рис.1.1).

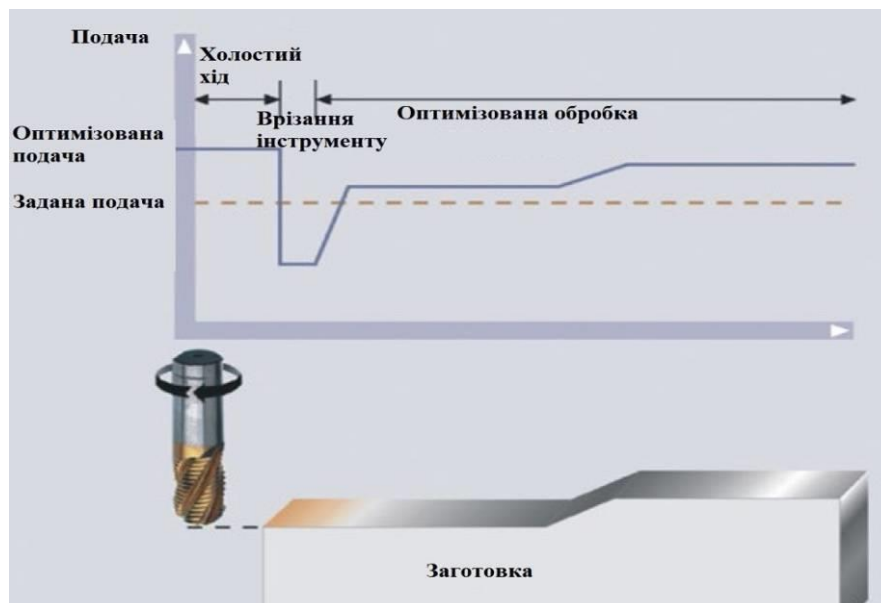


Рис.1.1 Ілюстрація управління процесом різання від Omativ Systems

## MARPOSS

Фірма «MARPOSS» представила на ринку аналогічну систему управління процесом різання (Рис.1.2). За допомогою адаптивного керування, заснованого на використанні поточної інформації, сила різання може бути стабілізована на заданому рівні залежно від вимірювання навантаження шпинделя під час роботи. Система автоматично регулює подачу в заданих межах. Аспектом управління є захист машини та інструменту. Швидкість подачі адаптується до умов обробки. За певних обставин звичайна швидкість обробки може бути занадто високою, якщо оброблювана деталь має нерівномірний припуск. Особливо при чорновій обробці заготовок можна очікувати значних розбіжностей припуску, що дозволяє особливо ефективно використовувати адаптивне керування.

Функція адаптивного управління оптимізує час циклу, підвищуючи тривалість роботи інструменту і підвищуючи надійність роботи машини [6].

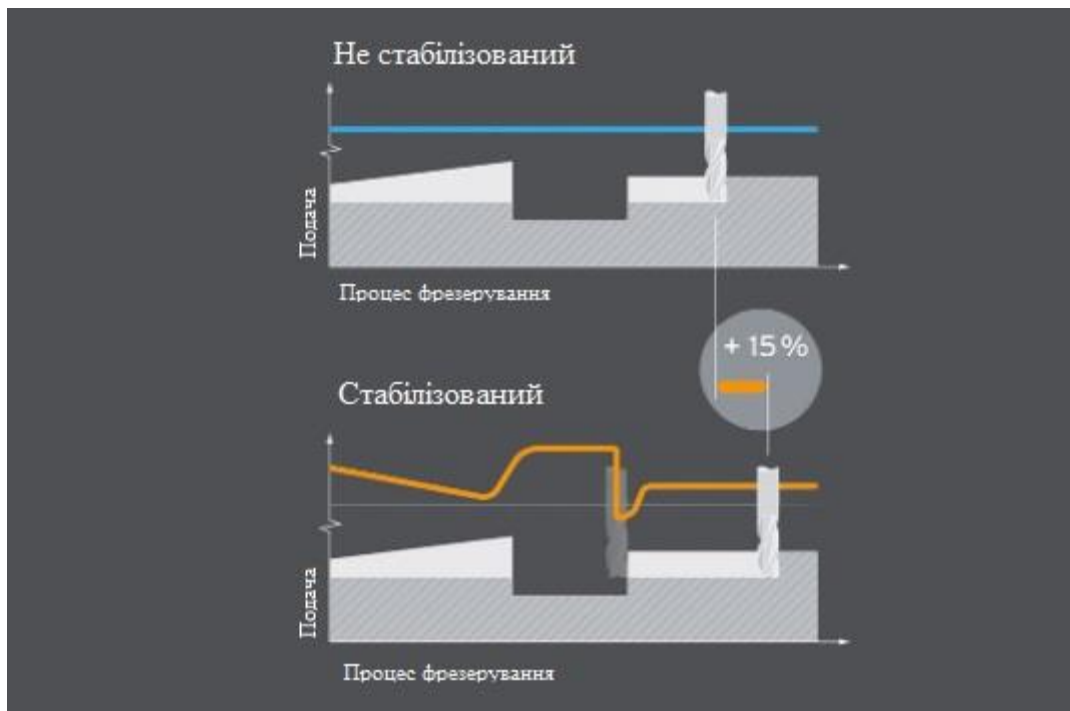


Рис. 1.2 Ілюстрація управління процесом різання від MARPOSS

### **SORALUCE ADAPTIVE CONTROL**

Німецькою фірмою «SORALUCE» створений ще один продукт. SORALUCE ADAPTIVE CONTROL автоматично налаштовує подачу залежно від реальної ситуації обробки (Рис.1.3).

Коли потужність шпинделя менше, ніж запрограмована, система управління може прискорити подачу, скоротивши час обробки. На відміну від цього, коли потужність вище, ніж запрограмована, система управління автоматично уповільнює подачу для захисту інструменту, деталі та машини [7].

Переваги, котрі заявляє SORALUCE:

- Дозволяє автоматичну обробку
- Збільшує термін служби машин і інструменту
- Не потребує навчання

- Час обробки скорочується до 25%
- Зменшує загальне споживання енергії

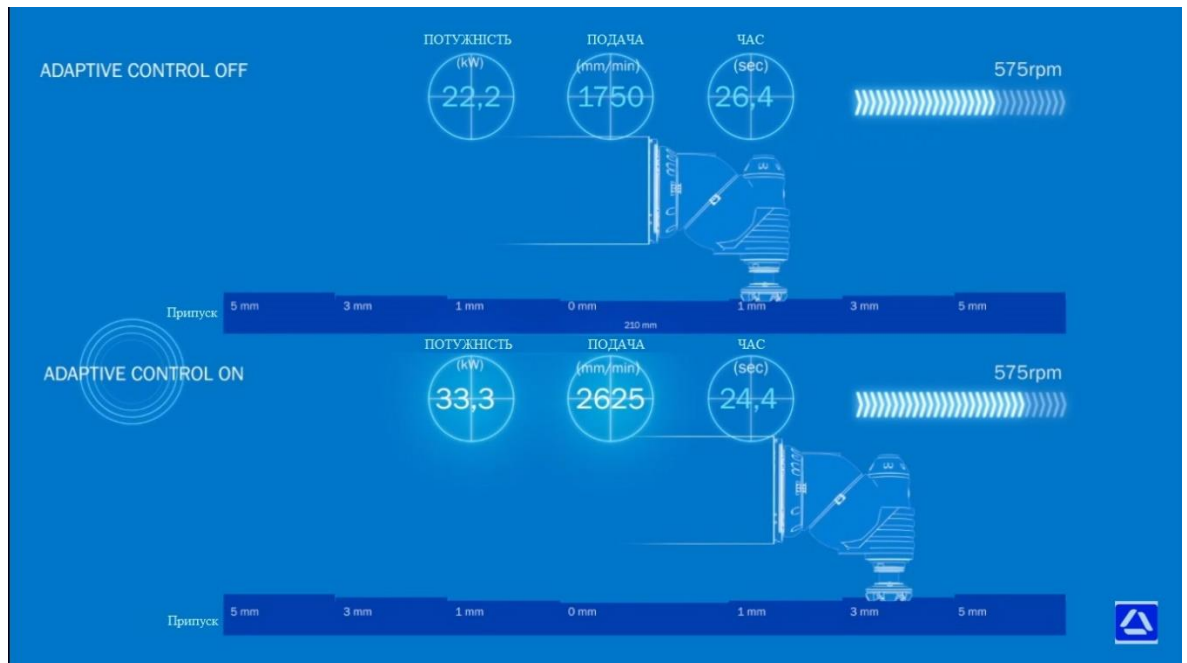


Рис. 1.3 Ілюстрація управління процесом різання від SORALUCE

## Siemens AMC

### Режими роботи

Система AMC стабілізує процес обробки за вашими вимогами та виробничими цілями. У залежності від конкретного застосування можна використовувати два режими роботи:

#### Режим контролю подачі:

Технологія оптимізації швидкості подачі даних АСМ використовує алгоритми, які оптимізують запрограмовану швидкість подачі, коли траєкторія простої форми, та зменшує, коли геометрія, міцність матеріалу або стан інструментів перебувають в ускладнених умовах. Процес оптимізації швидкості подачі скорочує час роботи управляючої програми та забезпечує максимальну якість обробки деталей. [8]

## **ТМАС**

ТМАС робить автоматичне регулювання подачі для стабілізування сили різання на заданому рівні і може зменшити час циклу обробки на 20 - 60%, особливо при важких для обробки матеріалах. [9]

Управління за апостеріорною інформацією базується на попередньому вимірюванні оброблюваної поверхні для застосування заходів щодо корекції траєкторії руху інструменту[10]. Зазвичай використовується для забезпечення необхідної точності виготовлення деталі.

### **1.2 Висновки**

Огляд останніх наукових публікацій за темою адаптивне керування процесом різання дозволяє визначити напрямок дослідження.

Метою роботи є дослідження стабілізування сили різання на заданому рівні завдяки керуванням подачі, що впливає на шорсткість деталі.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети:

1. Розробити програму моделювання процесу фрезерування опукло-увігненого контуру.
2. Дослідити вплив керування подачею на шорсткість



## РОЗДІЛ 2

### Розділ 2. Розробка математичної моделі процесу фрезерування

#### 2.1 Математична модель процесу фрезерування

Процес фрезерування заснований на двох одночасно діючих рівномірних рухів: обертального і поступального. При цьому точки окружності переміщуються по траєкторії квазітрохоїди. Траєкторія руху описується переміщенням інструмента за  $x$  та  $y$  координатою [11]. Розглянемо рівняння руху за траєкторіями фрезерування.

#### Циліндричне фрезерування плоских поверхонь

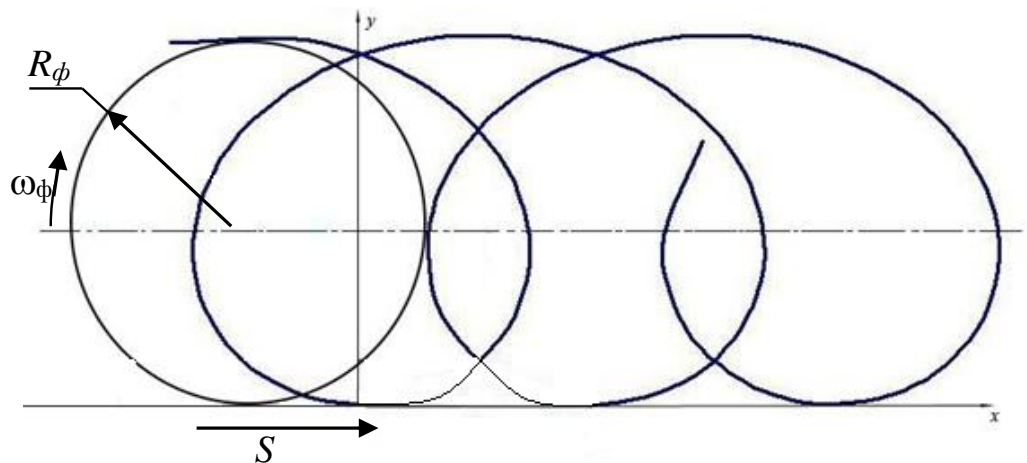


Рис. 2.1. Траєкторія руху фрези при попутному фрезеруванні

Рівняння руху фрези під час попутного фрезеруванні плоских поверхонь (Рис. 2.1.):

$$\begin{cases} x = R_\phi \sin\left(\frac{Ut}{R_\phi}\right) + St \\ y = R_\phi \left(1 - \cos\left(\frac{Ut}{R_\phi}\right)\right) \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $R_\phi$ - радіус фрези,  $U$ - швидкість обертання фрези,  $t$ - час;

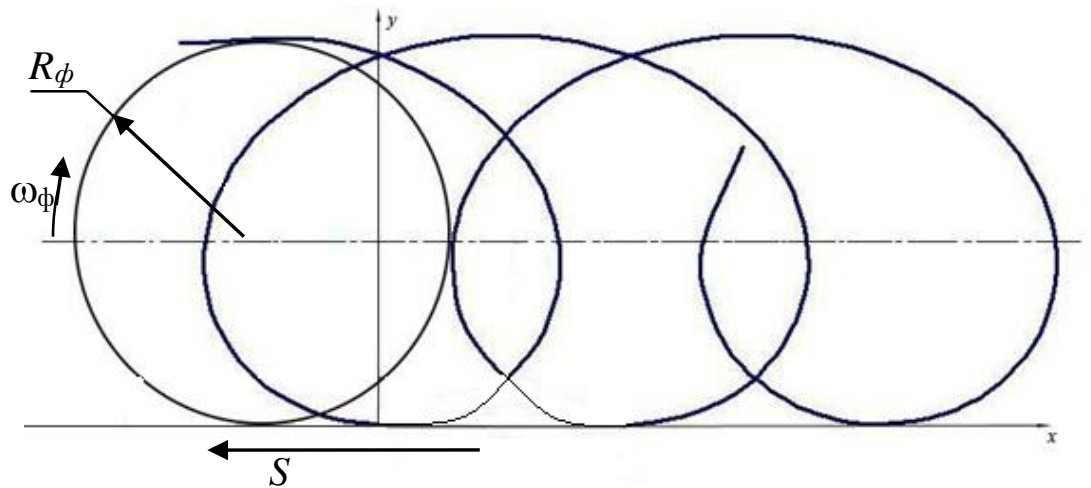


Рис. 2.2 Траєкторія руху фрези при зустрічному фрезеруванні

Рівняння руху фрези під час зустрічного фрезеруванні плоских поверхонь (Рис. 2.2.):

$$\begin{cases} x = R_{\phi} \sin\left(\frac{Ut}{R_{\phi}}\right) - St \\ y = R_{\phi} \left(1 - \cos\left(\frac{Ut}{R_{\phi}}\right)\right) \end{cases} \quad (2.2)$$

де  $R_{\phi}$ - радіус фрези,  $U$ - швидкість обертання фрези,  $t$ - час;

Процес циліндричного фрезерування по опуклому та увігненому контурі зазвичай відбувається в результаті дії двох обертальних рухів, а саме при обертанні заготовки та обертанні або руху інструменту за заокругленою траєкторією [11]. А отже, рівняння руху відрізняються.

Розглянемо рівняння руху фрезерування по опуклому та увігненому контурі.

## Циліндричне фрезерування по опуклому контуру

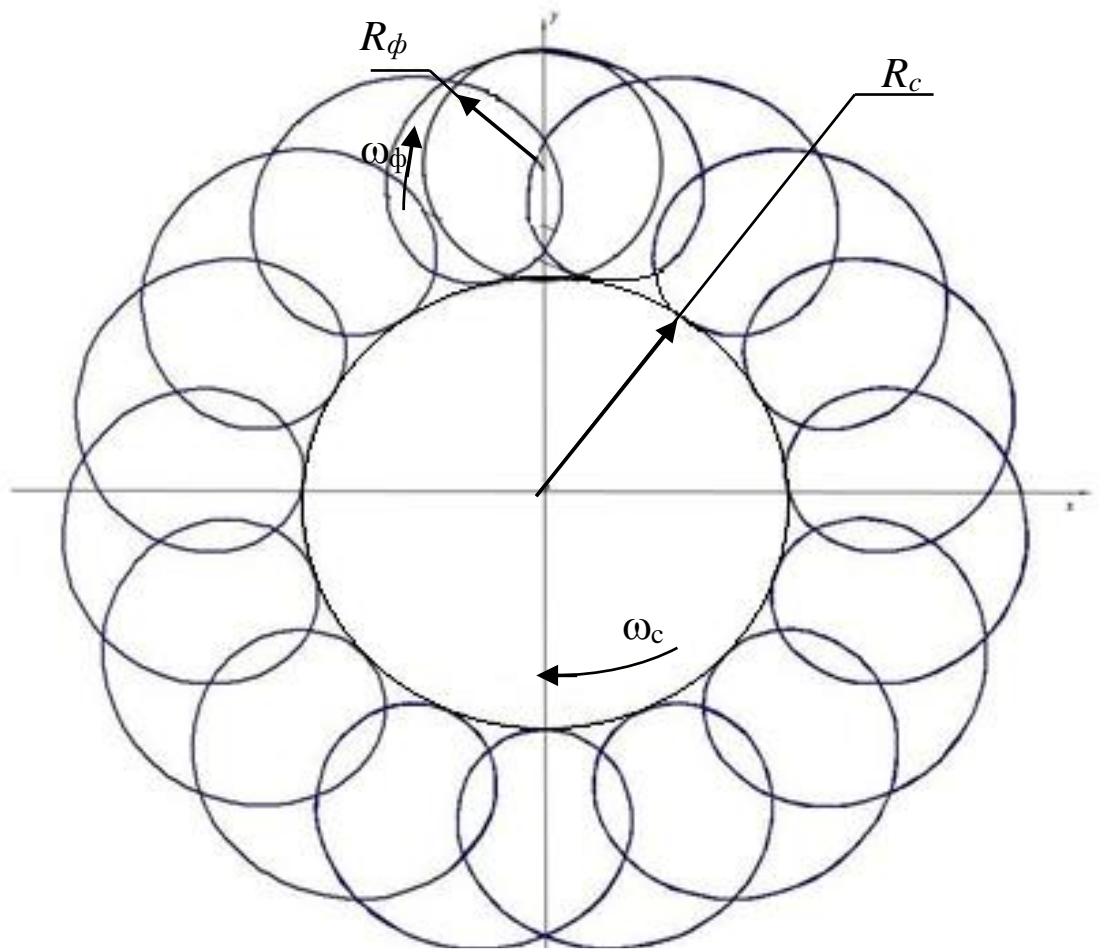


Рис.2.3 Траєкторія руху фрези при попутному фрезеруванні опуклого контуру

Рівняння руху під час попутного фрезерування опуклого контуру (Рис.2.3) :

$$\begin{cases} x = \sin(\omega_c t)(R_c + R_\phi) + \sin((\omega_\phi + \omega_c)t)R_\phi \\ y = \cos(\omega_c t)(R_c + R_\phi) + \cos((\omega_\phi + \omega_c)t)R_\phi \end{cases} \quad (2.3)$$

де  $\omega_c$ - кутова швидкість заготовки,  $\omega_\phi$ - кутова швидкість фрези,  $R_c$ - радіус заготовки,  $R_\phi$ - радіус фрези,  $t$ -час;

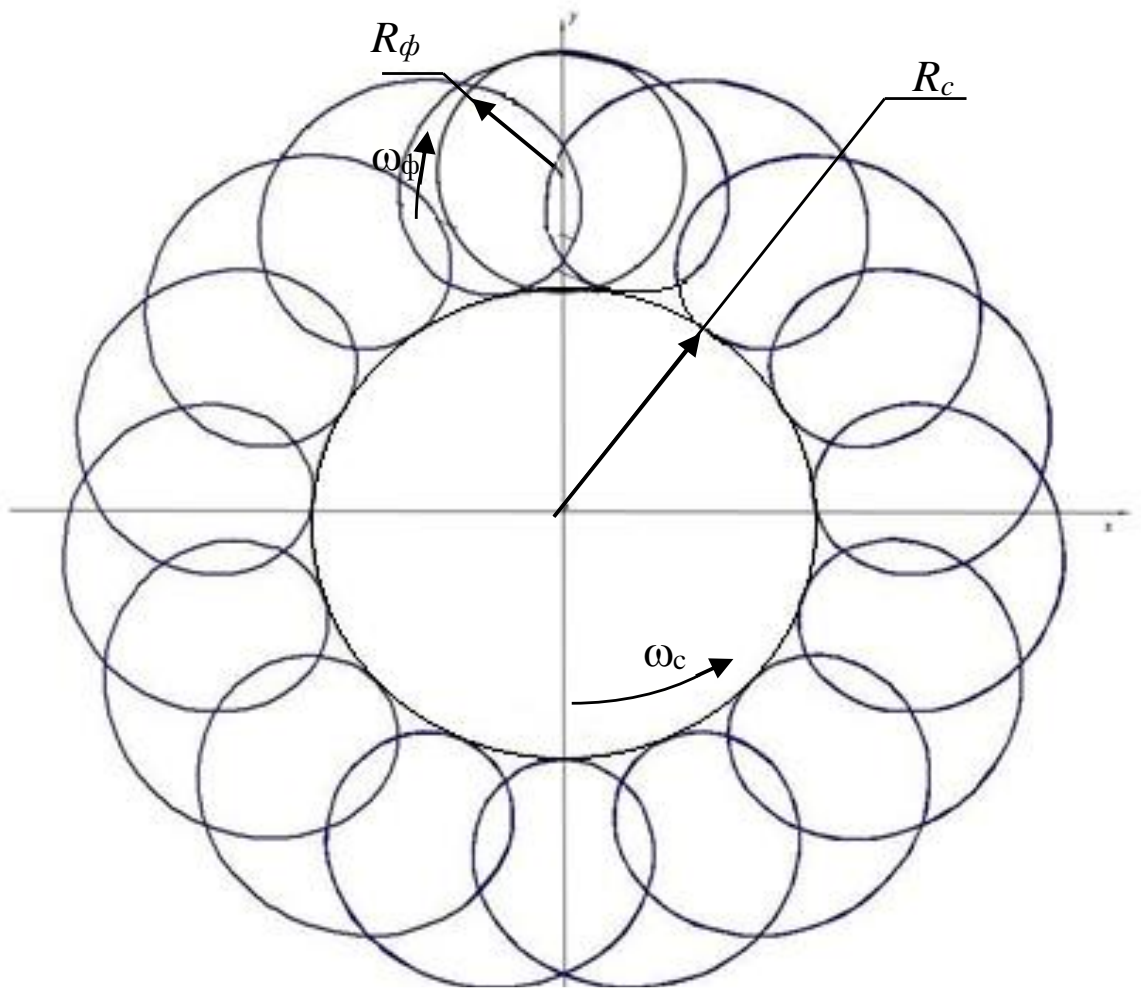


Рис.2.4 Траєкторія руху фрези при зустрічному фрезеруванні опуклого контуру

Рівняння руху під час зустрічного фрезерування (Рис 2.4):

$$\begin{cases} x = \sin(\omega_c t)(R_c + R_\phi) + \sin((\omega_\phi + \omega_c)t)R_\phi \\ y = \cos(\omega_c t)(R_c + R_\phi) - \cos((\omega_\phi + \omega_c)t)R_\phi \end{cases} \quad (2.4)$$

де  $\omega_c$ - кутова швидкість заготовки,  $\omega_\phi$ - кутова швидкість фрези,  $R_c$ - радіус заготовки,  $R_\phi$ - радіус фрези,  $t$ -час;

## Циліндричне фрезерування по увігнутому контуру

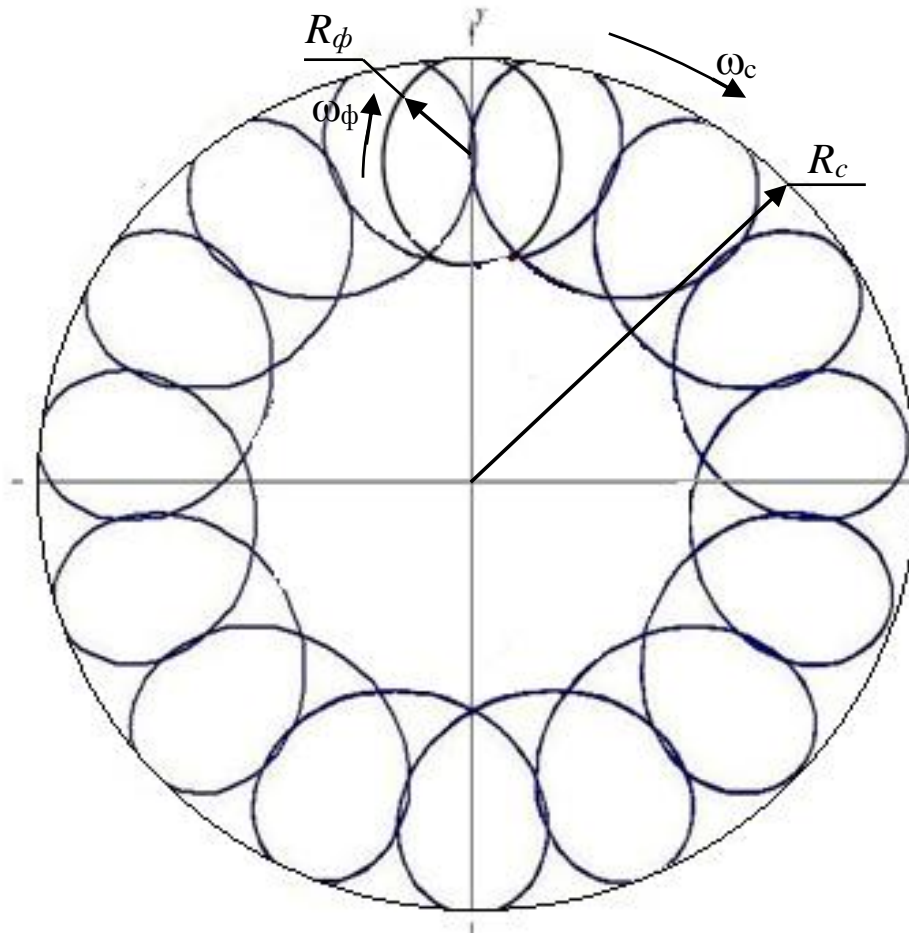


Рис.2.5 Траєкторія руху фрези при попутному фрезеруванні увігнутого контуру

Рівняння руху під час попутного фрезерування увігнутого контуру (Рис.2.5):

$$\begin{cases} x = \sin(\varpi_c t)(R_c + R_\phi) + \sin((\varpi_\phi + \varpi_c)t)R_\phi \\ y = \cos(\varpi_c t)(R_c + R_\phi) - \cos((\varpi_\phi + \varpi_c)t)R_\phi \end{cases} \quad (2.5)$$

де  $\omega_c$ - кутова швидкість заготовки,  $\omega_\phi$ - кутова швидкість фрези,  $R_c$ - радіус заготовки,  $R_\phi$ - радіус фрези,  $t$ -час;

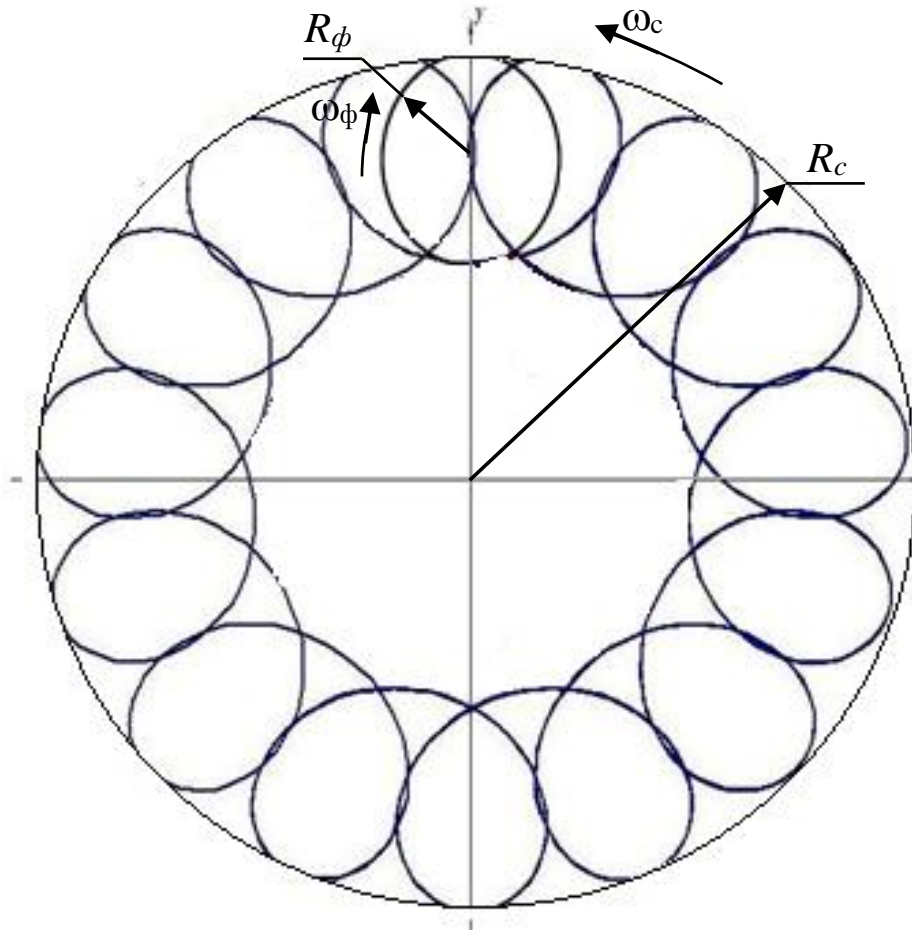


Рис.2.6 Траєкторія руху фрези при зустрічному фрезеруванні увігненого контуру

Рівняння руху при зустрічному фрезеруванні увігненого контуру (Рис.2.6):

$$\begin{cases} x = \sin(\omega_c t)(R_c + R_\phi) + \sin((\omega_\phi + \omega_c)t)R_\phi \\ y = \cos(\omega_c t)(R_c + R_\phi) + \cos((\omega_\phi + \omega_c)t)R_\phi \end{cases} \quad (2.6)$$

де  $\omega_c$ - кутова швидкість заготовки,  $\omega_\phi$ - кутова швидкість фрези,  $R_c$ - радіус заготовки,  $R_\phi$ - радіус фрези,  $t$ -час;

Визначимо окружну сили різання (Рис.2.7).

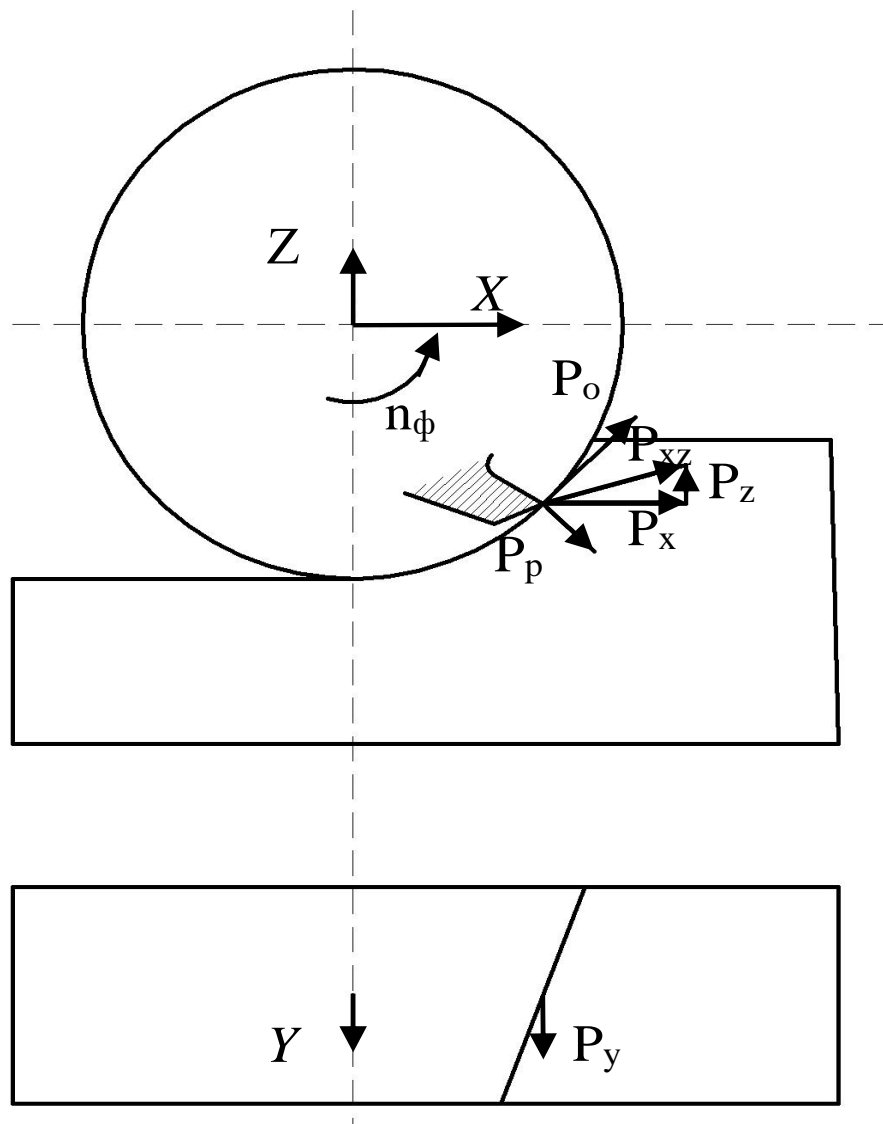


Рис. 2.7 Схема складових сил різання

Сила різання для процесу фрезерування визначається[12]:

$$P_o = C_p S_z^{1-k} B \sin^{1-k} \theta \quad (2.7)$$

Де  $P_o$ - окружна сила,  $C_p$ - імперичний коефіцієнт,  $S_z$ - подача на зуб,  $B$ - ширина фрезерування,  $\theta$ - кут контакту;

## 2.2 Метод визначення шорсткості

Згідно дослідження[12] було виведено формули для визначення висоти гребінця. Шорсткість будемо аналізувати за висотою гребінця  $h$ . Розглянемо випадки за траєкторіями фрезерування.



Для випадку циліндричного фрезерування плоских поверхонь:

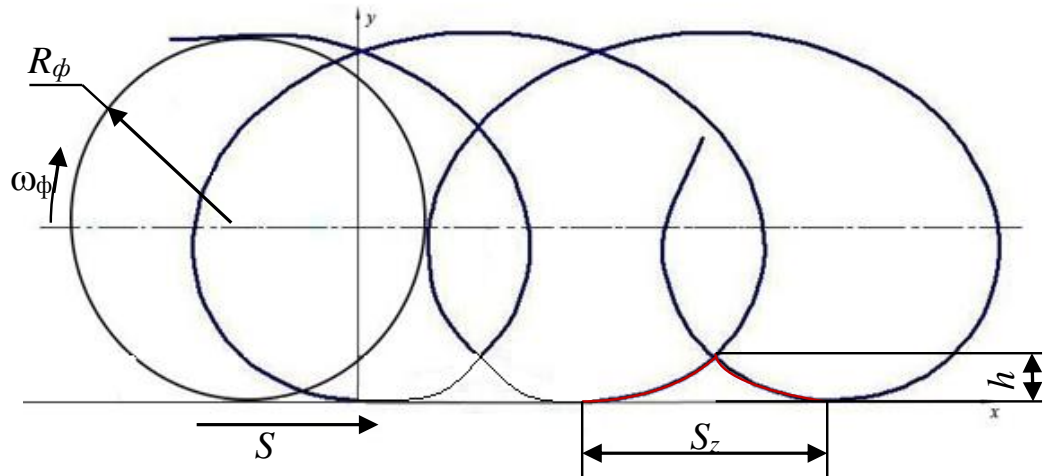


Рис.2.8 Визначення висоти гребінця для попутного фрезерування плоских поверхонь

А) Рівняння висоти гребінця при попутному фрезеруванні плоских поверхонь (Рис. 2.8)

$$h = R_{\phi} \left( 1 - \cos \left( \frac{S_z \pi}{S_z + 2\pi R_{\phi}} \right) \right) \quad (2.8)$$

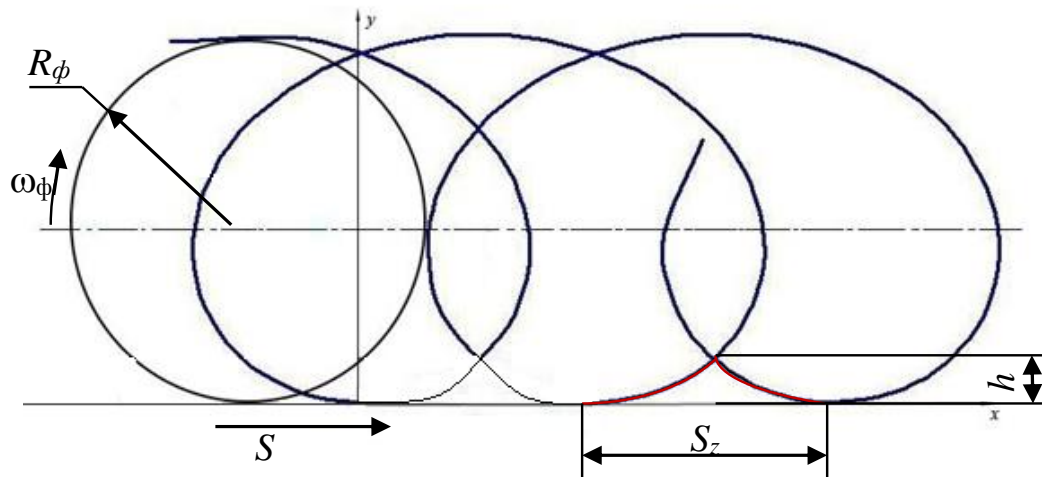


Рис.2.9 Визначення висоти гребінця для зустрічного фрезерування плоских поверхонь



Б) Рівняння висоти гребінця при зустрічному фрезеруванні плоских поверхонь (Рис. 2.9)

$$h = R_{\phi} \left( 1 - \cos \left( \frac{S_z \pi}{2\pi R_{\phi} - S_z} \right) \right) \quad (2.9)$$

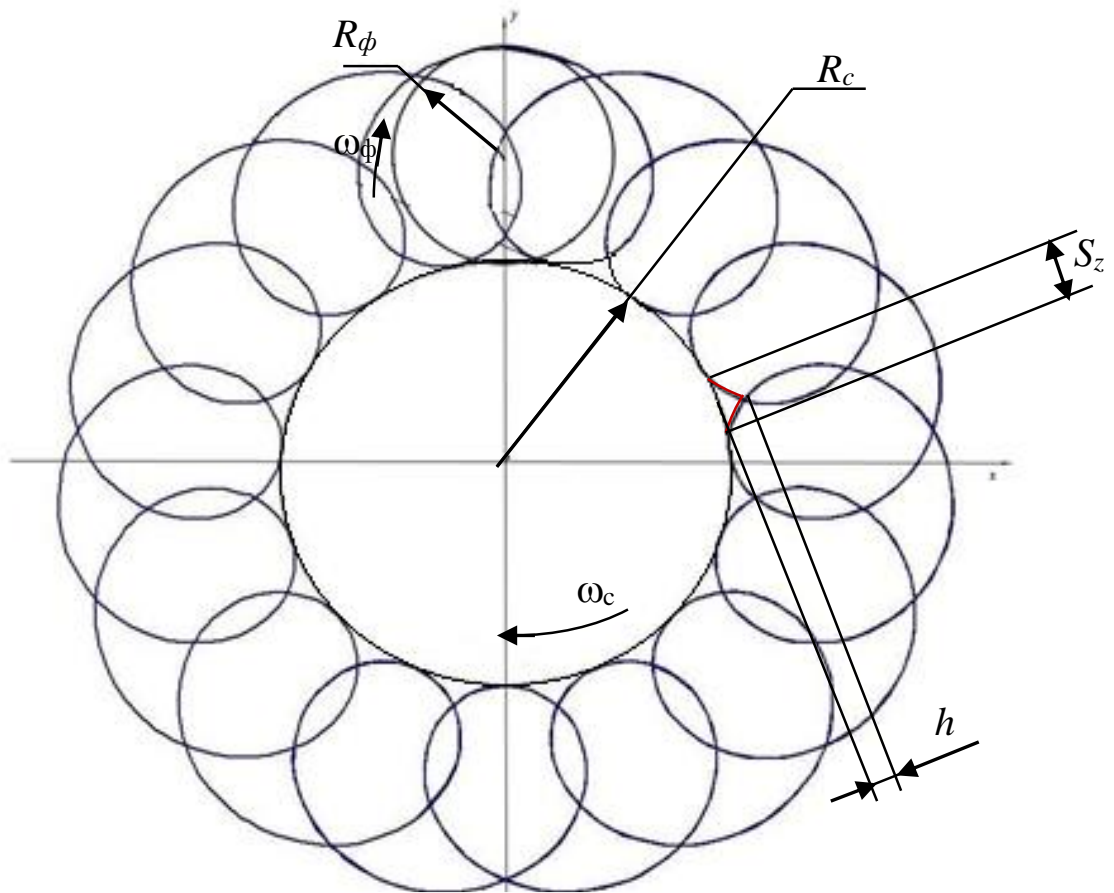


Рис.2.10 Визначення висоти гребінця для фрезерування по опуклому контуру

Для випадку циліндричного фрезерування по опуклому контуру (Рис. 2.10):

$$h = \sqrt{x^2 + y^2} - R_c \quad (2.10)$$

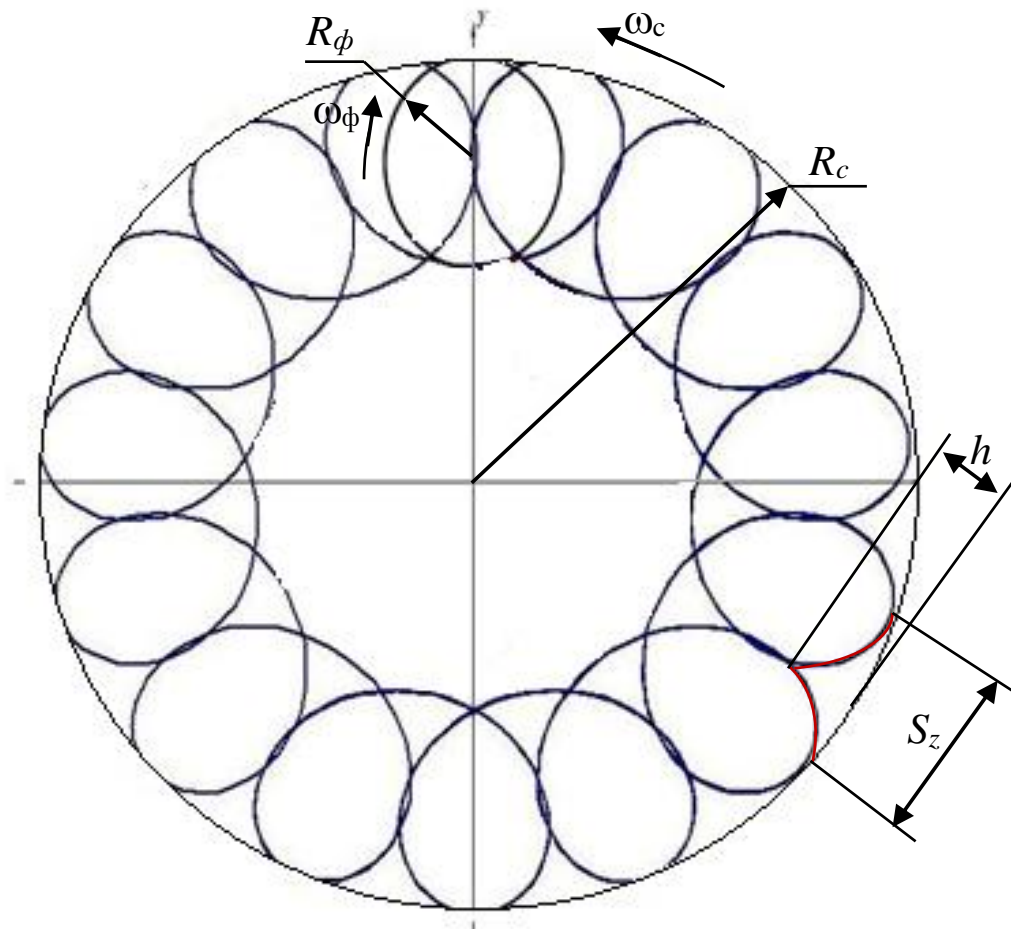


Рис.2.11 Визначення висоти гребінця для фрезерування по увігнутому контуру

Для випадку циліндричного фрезерування по увігнутому контуру (Рис. 2.11):

$$h = R_c - \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.11)$$

Дані формули (2.9-2.11) дають нам змогу розробити модуль побудови графіку шорсткості для програми моделювання.

### 2.3 Опис програми моделювання

Для створення програми моделювання застосовувався числовий метод. Програма моделює процес фрезерування по увігнуто-опуклій траекторії,

будує графіки залежності сили різання, подачі, дуги контакту та висоти гребінця(шорсткості).

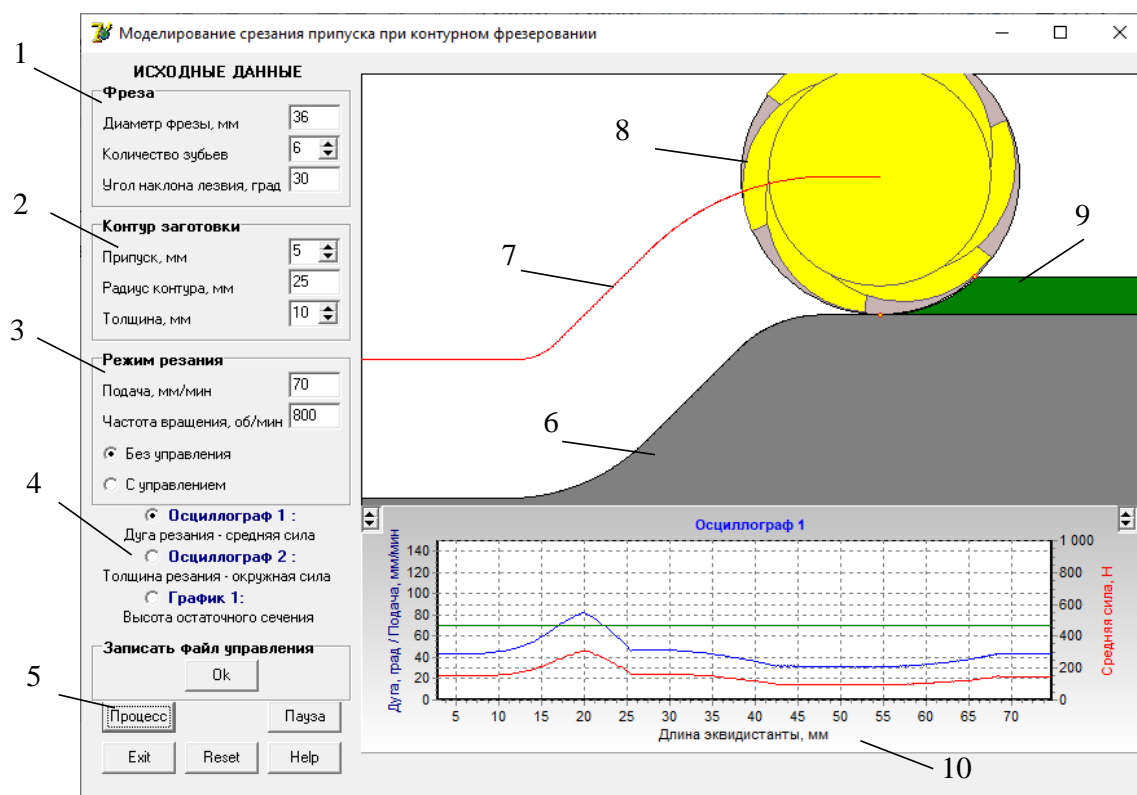


Рис. 2.12 Головной интерфейс программы

- 1- Вікно параметрів інструменту
- 2- Вікно параметрів заданих заготовкою
- 3- Вікно параметрів різання
- 4- Вікно вибору графіка
- 5- Вікно управління програмою
- 6- Деталь
- 7- Траєкторія фрезерування (еквідистанта)
- 8- Фреза

9- Припуск

10- Вікно з графіком (Рис. 2.2- 2.4)

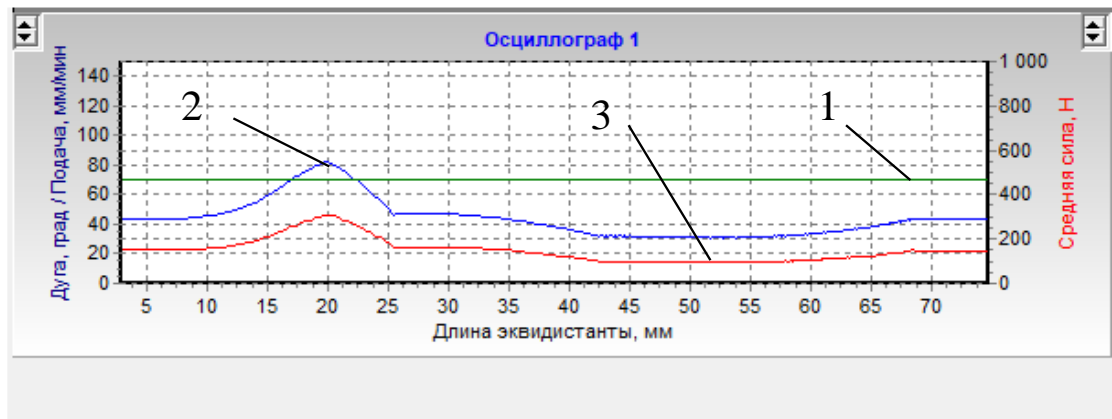


Рис. 2.13 Графік залежності сили різання від подачі

1- Подача, мм/хв

2- Дуга, град

3- Середнє значення сили різання, Н

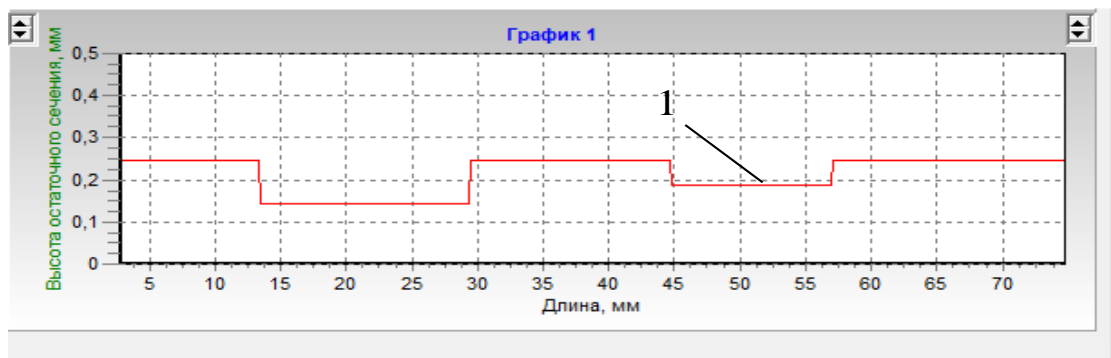


Рис. 2.14 Графік шорсткості

1- Висота гребінця

## 2.4 Моделювання процесу

Моделюємо процес фрезерування за вхідними даними (рис.2.6), а саме діаметр фрези 36 мм, кількість зубів фрези- 6, кут нахилу зуба- 30°, припуск 5 мм, радіус заокруглення контуру 25 мм, товщина 10 мм, подача 70 мм/хв, частота обертання фрези 800 об/хв.

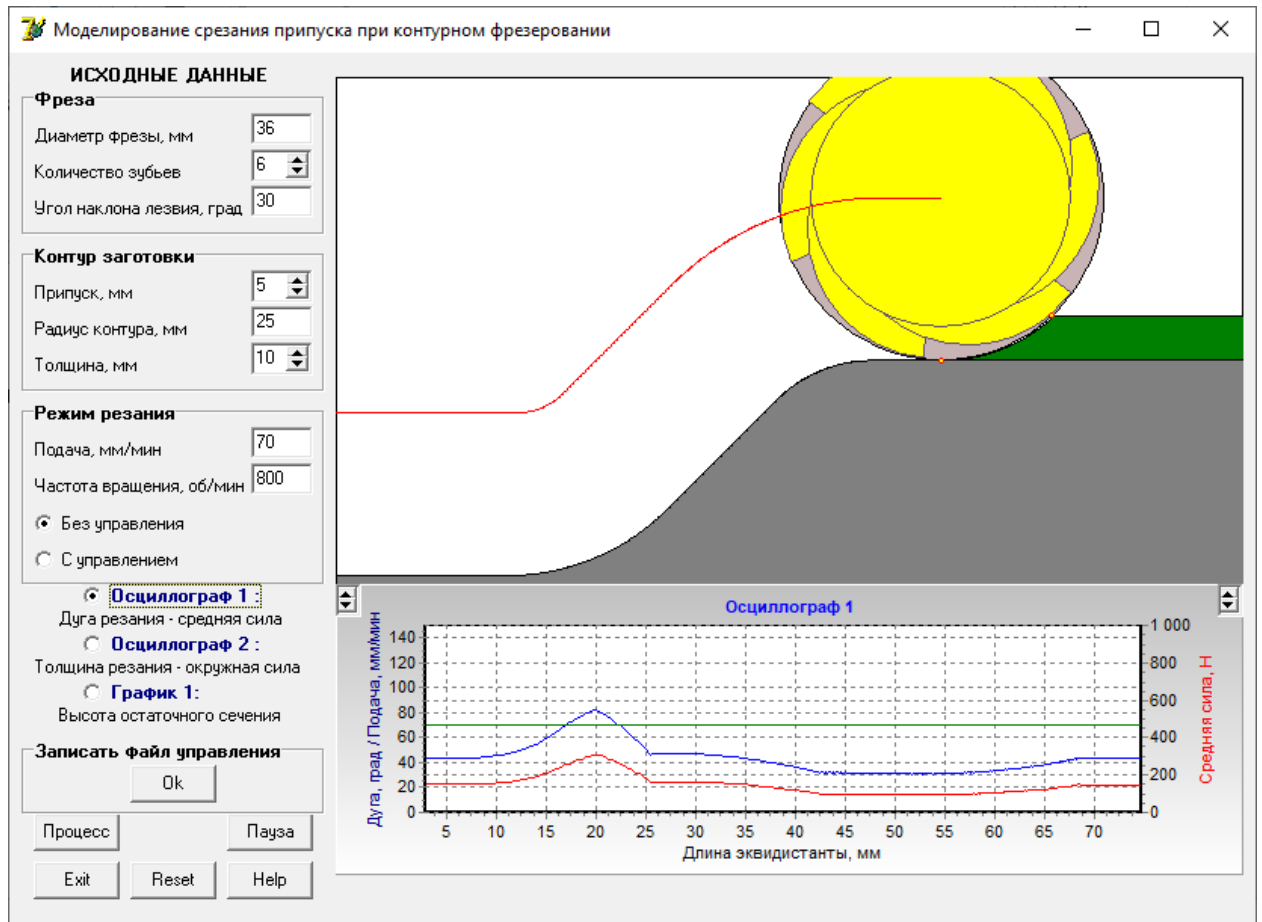


Рис. 2.15 Вхідні дані

Під час обробки без керування подачею, тобто  $S=\text{const}$ , ми спостерігаємо не стабілізований процес різання, а саме коливання сили різання від 150 Н до 300 Н (Рис.2.7).

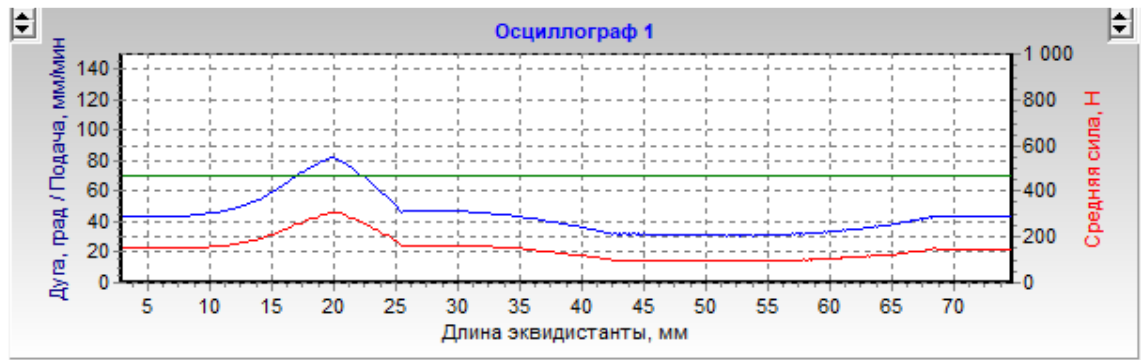


Рис. 2.16 Графік залежності сили різання під час обробки при  $S=\text{const}$

Побудувавши графік висоти гребінця можна спостерігати значний перепад при переходах між різними траєкторіями руху (Рис. 2.17).

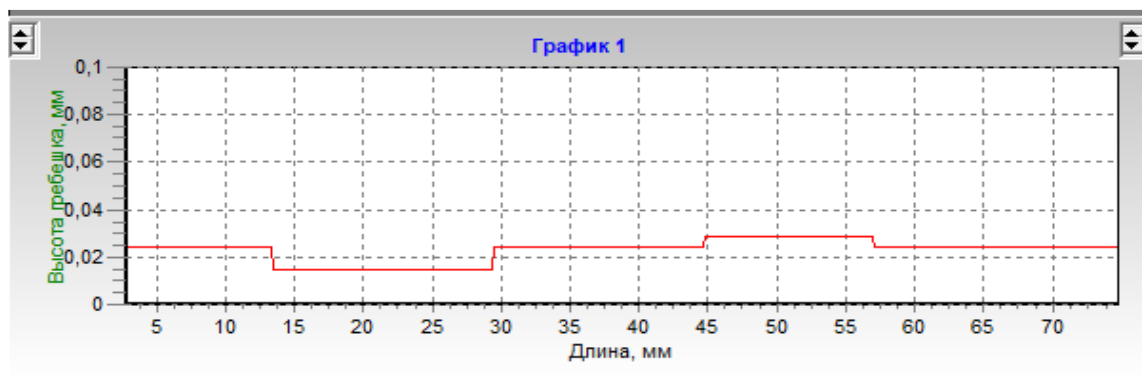


Рис. 2.17 Графік залежності висоти гребінця під час обробки без керування подачею

Для стабілізування сили різання використовується керування подачею, тобто  $S=\text{var}$ . З управлінням подачею сила різання стабілізувалася на рівні 175Н та не має значних відхилень (Рис. 2.18).

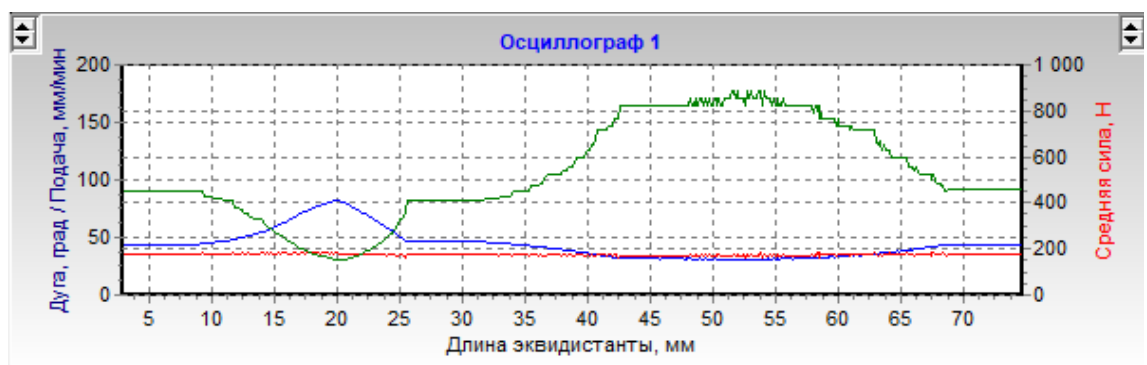


Рис. 2.18 Графік залежності сили різання під час обробки зі змінною подачею

З управлінням подачею бачимо вирівнювання перепаду значень висоти гребінця (рис. 2.10).

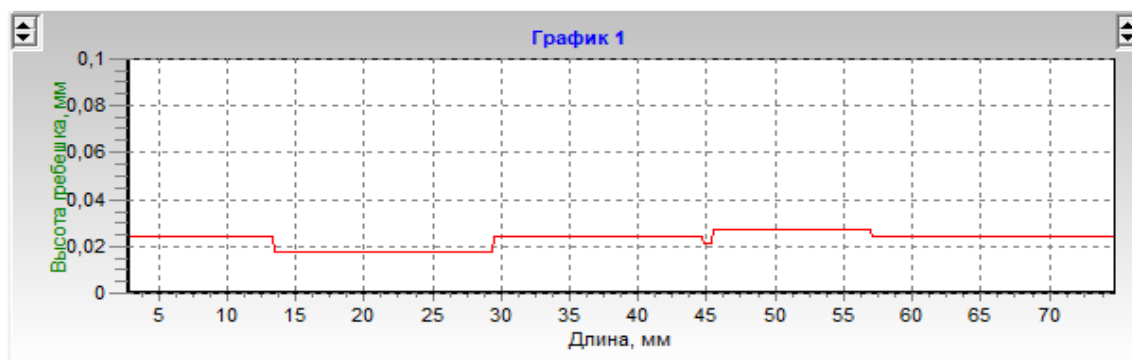


Рис. 2.19 Графік залежності висоти гребінця під час обробки зі змінною подачею

## 2.5 Висновки

Моделювання доводить, що управління подачею стабілізує силу різання на потрібному рівні. Можна також відзначити вплив на висоту гребінця при переходах між різними траєкторіями руху довжині обробки опукло-увігнутого контуру.

## **РОЗДІЛ 3**

### **Розділ 3. Алгоритм віртуального базування 2D заготовок на фрезерному верстаті з ЧПК**

#### **3.1 Вступ**

Технологія обробки деталей на металорізальних верстатах завжди передбачає початковою операцією процес підготовки чорнових технологічних баз, які, в найкращому варіанті, повинні збігатися з конструкторськими. В якості цих баз користуються поверхнею деталі (заготовки), керуючись існуючими правилами поєднання (єдності) баз і принципом сталості баз [14]. Наразі сучасні верстати з ЧПК, обробні центри дозволяють обробити деталь повністю за одну операцію або виконати повністю всю чорнову обробку. Особливо актуальним такий підхід є при обробці деталей, що мають функціональні поверхні складної 3D форми або відрізняються великими габаритами або і те й інше, наприклад, лопатки і лопаті гідромашин, гідравлічних турбін, фюзеляжі літака і т.п. [15]. При цьому важливо забезпечити оптимальне розташування деталі в тілі заготовки, тобто рівномірний припуск. Завдання ускладнюється при обробці великогабаритних виробів, наприклад, елементів ракетоносіїв, прес-форм для приладових панелей автомобілів, оснащення для панелей кузова автомобіля і т.п.

Тому науково-технічна проблема «прив'язки» управляючої програми до фактичного положення заготовки на столі верстату при мінімальній кількості вимірювань і забезпеченні найбільш рівномірного розташування припуску є актуальною.

#### **3.2 Аналіз виконаних досліджень**

За результатами практики машинобудівних виробництв, наприклад, в авіаційній галузі при виконанні базування великогабаритних деталей (заготовок) виникають значні труднощі [16]. Установка заготовки великих



габаритів і маси в необхідне положення і її вивірка потребує великих затрат часу і сил, що призводить до значної втрати загального часу виготовлення і не забезпечує оптимальний (рівномірний) розподіл припуску на поверхнях, що оброблюється [17].

Отже, для виконання цього завдання необхідно встановити точний наявний стан заготовки на верстаті. Такі операції можуть бути виконані за допомогою OMV-технології (On Machine Verification), яку пропонує фірма Delcam. Повідомляється про застосування «віртуального базування», коли витрати на OMV-вимірювання перед початком фрезерування набагато менше, ніж при ручному базуванні, а корекція керуючої програми виконується за спеціальними алгоритмами, які не розкриваються [18].

На кафедрі технології машинобудування була розроблена нова технологія адаптивного оброблення при програмуванні операцій фрезерування контурів деталей на верстаті з ЧПУ в разі віртуального базування заготовки, яка виконується в результаті вирішення задачі мінімаксу [19]. До того ж, розроблена математична модель надає можливість однозначно визначати положення заготовки на столі верстата за виміряними координатами всього трьох її точок.

Проте, як показала практика, розроблений алгоритм має суттєву ваду, яка полягає у неможливості визначити координати необхідного зсуву управляючої програми при деяких випадках розташування заготовки на столі верстату.

### **3.3 Основний зміст**

**Мета роботи.** Розробити алгоритм віртуального базування заготовок на столі фрезерного верстату з ЧПК, який є інваріантним до фактичного розташування заготовки і має універсальний характер.

**Методика вирішення задачі.** При використанні розробленої програми автоматизація підготовки даних виконується інженером-технологом за розробленими раніше інструкціями [19].

Спочатку виконується підготовка креслення деталі в графічному редакторі, на якому проектується контур заготовки. Контур деталі і контур заготовки виділяються кольоровими лініями – відповідно червоною і синьою. Для узгодження розмірів на кресленні обирається відрізок певної довжини, він буде сприйматися програмою як маркер. Підготовлене таким чином креслення у вигляді файлу в форматі 24-розрядного рисунку \*.bmp завантажується в програму через віконце «Адреса файлу» в якому попередньо треба написати адресу його розташування на комп'ютері, де виконується проектування (рис.3.1). При натисканні кнопки «Сканування» в програмі відбувається формування цифрових масивів контурів деталі і заготовки.

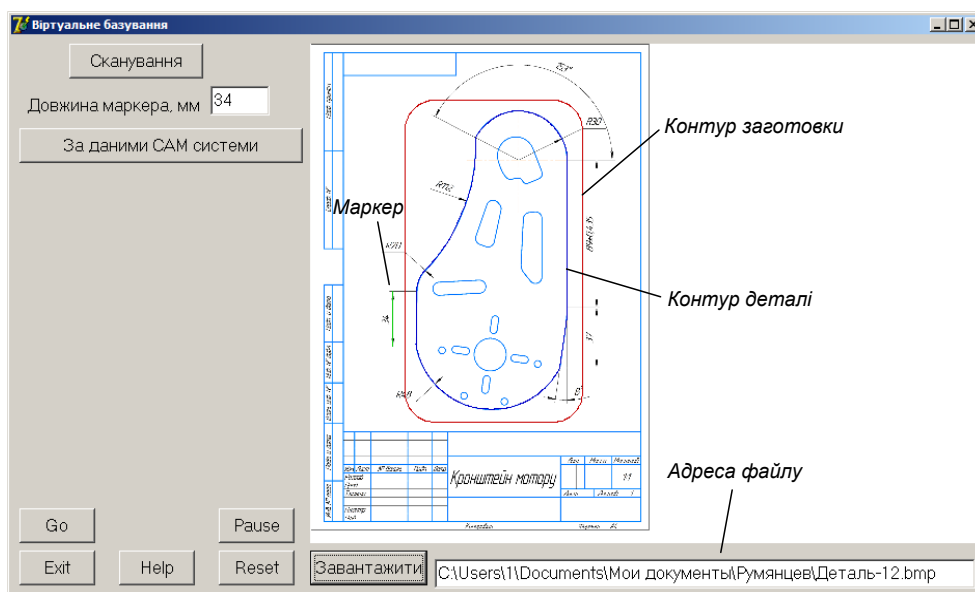


Рис.3.1. Інтерфейс програми з завантаженим кресленням деталі

Слід зауважити, що алгоритм і відповідно прикладна програма допускають виконання орієнтації цифрового масиву заготовки за координатами, які були виміряні на верстаті точок вже реальної заготовки. Така операція виконується вручну за допомогою мишки і клавіші «обертання»

в графічному вікні. На рис 3.2 показаний інтерфейс програми перед запуском автоматичного пошуку положення деталі, а, отже, і управляючої програми, що відповідає результатам вирішення задачі мінімаксу.

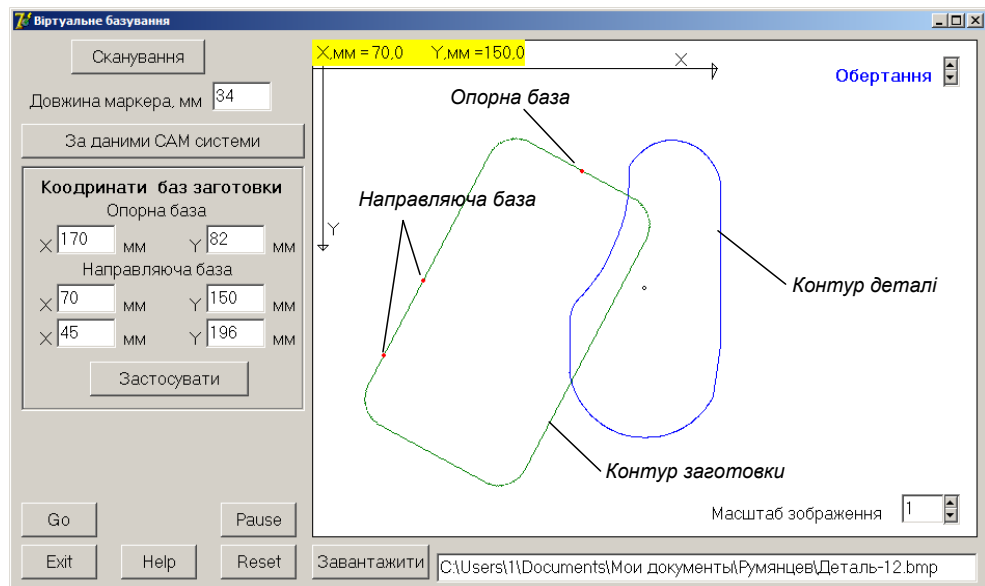


Рис. 3.2. Інтерфейс програми перед автоматичним пошуком

При натисканні кнопки «Go» починається процес пошуку, результати якого відображаються в графічному полі інтерфейсу (рис.3.3). Контур деталі переміщується в напрямку заготовки, а в графічному полі з'являються траєкторії руху центру мас (лінія 1) і опорних точок контуру (лінії 2).

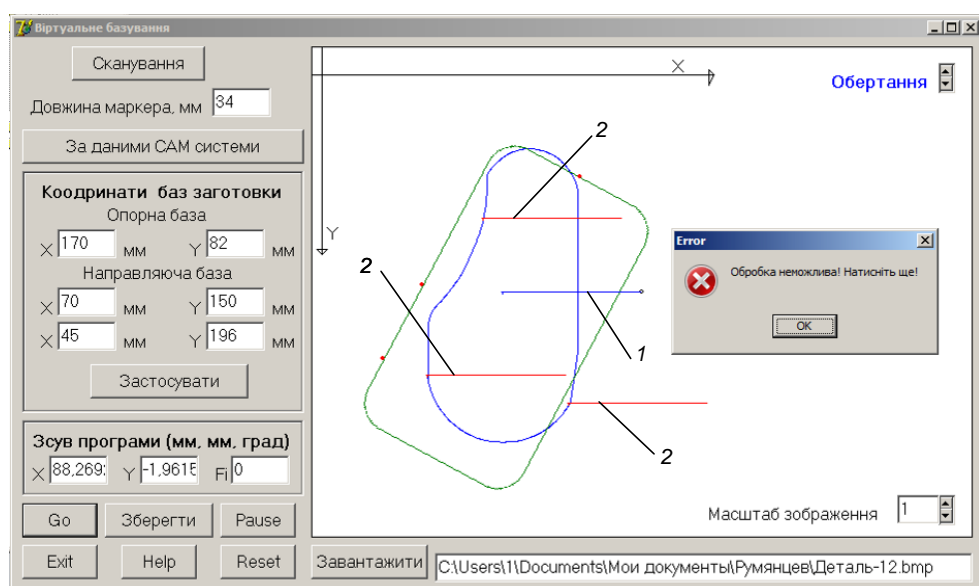


Рис.3.3. Колізія вирішення задачі

В положенні, представленому на рис.3.3, пошук закінчується і з'являється повідомлення про неможливість вирішення задачі. Подальше натискання на кнопку не дає результатів. Для вирішення проблеми було запропоноване удосконалення алгоритму (рис.3.4).

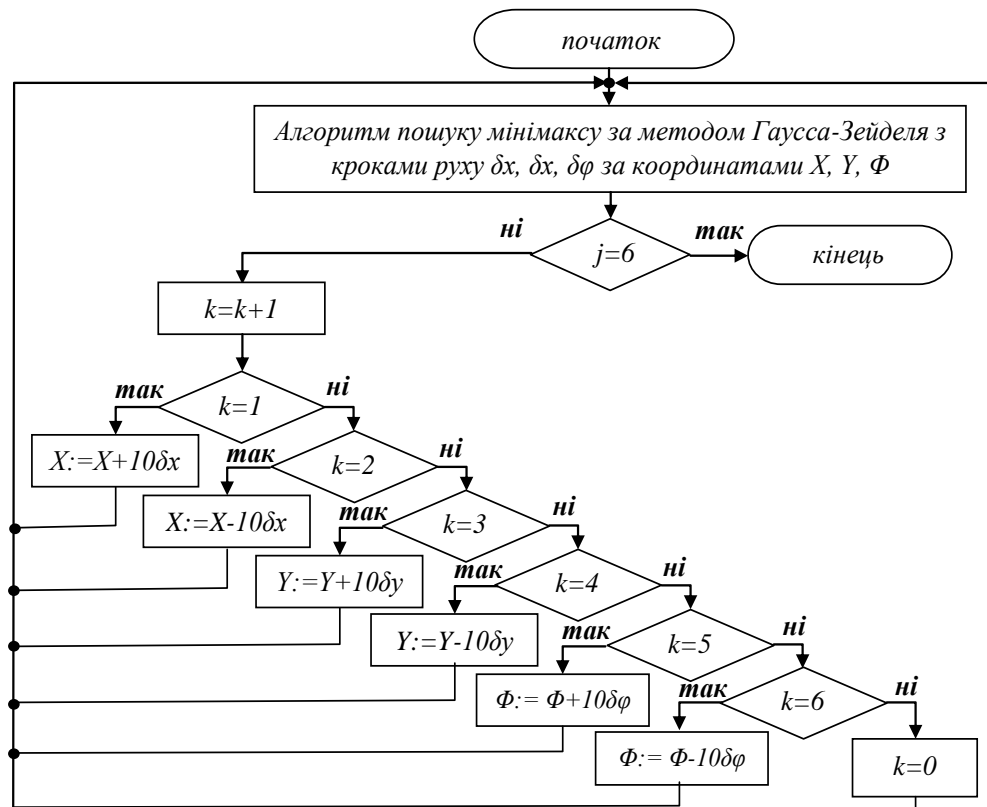


Рис.3.4. Удосконалений алгоритм пошуку

Удосконалення полягає в тому, що при попаданні алгоритму пошуку в «яму» починає діяти частина алгоритму, яка на кожному наступному етапі пошуку змінює крок пошуку послідовно за всіма координатами в 10 разів. Зміни відбуваються за лінійними координатами  $X$  і  $Y$  і кутовою координатою  $\Phi$  в обидві сторони. Таким чином забезпечується вихід алгоритму з так званої ями і в решті-решт вирішення задачі (рис.3.5).

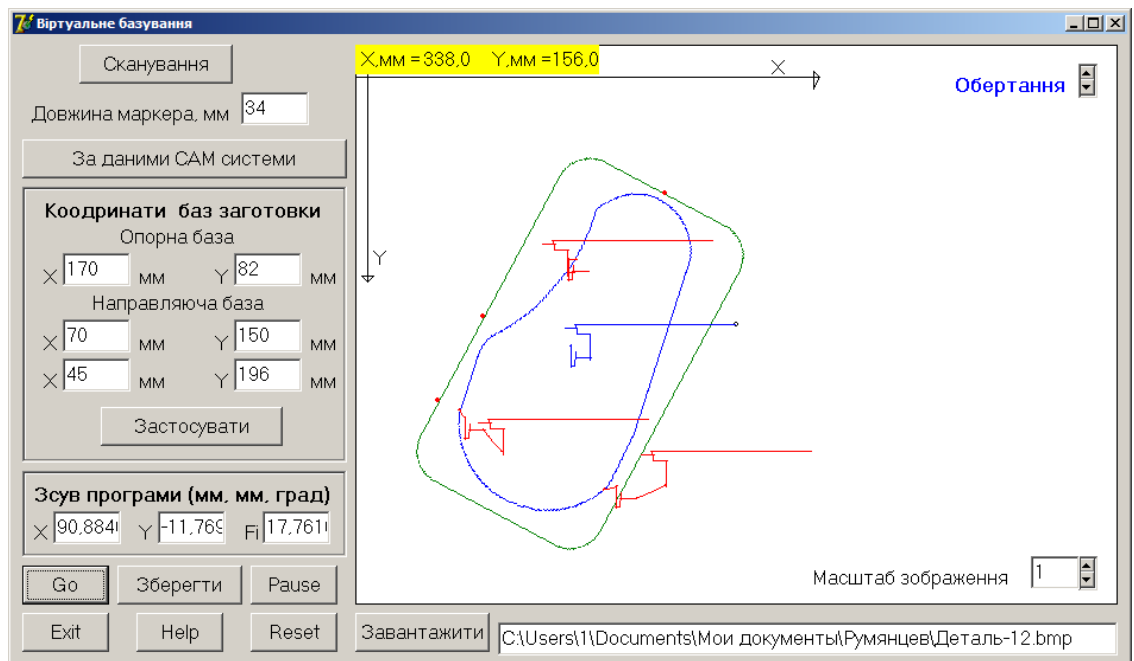


Рис.3.5. Інтерфейс програми після закінчення вирішення задачі мінімаксу

Положення контуру деталі в графічному полі відповідає вимогам, коли відстані від контуру деталі мінімізовані, а в віконцях з'являються координати зсуву управляючої програми, які забезпечать виконання вимог і на верстаті.

### 3.4 Висновки

Доведено, що для забезпечення інваріантності розробленого методу віртуального базування заготовки при контурному фрезеруванні необхідно використовувати удосконалений алгоритм пошуку, який передбачає послідовний рух за лінійними і кутовими координатами пошуку зі збільшеним кроком.

## РОЗДІЛ 4

### Розділ 4. Розробка стартап-проекту

Розроблено за програмою освітнього курсу «Управління проектами» [20].

#### 4.1 Вступ до розробки стартап-проекту

Стартап – це новаторська ідея на ринку, що в подальшому регенерується в бізнес проект та відповідно в сам бізнес. Як правило ідеї утворюються на основі новостворених технологій та інновацій.

Транснаціональні корпорації здебільшого не продукують нові та цікаві продукти так як вже отримали своє місце на ринку. А продукування нових продуктів займає значну частку витрат та часу, що є часто не вигідним, оскільки заробити можна вже на існуючому продукті. Тому з точки зору ефективності більшу перевагу мають саме стартапи. Оскільки вони можуть забезпечити якісно новий підхід в технології чи забезпечити якісно новий продукт.

Слід зазначити, що зазвичай ті хто засновують новаторський бізнес не мають ресурсу на його втілення. Однак чим оригінальніша та ефективніша буде ідея – тим більше шансів отримати підтримку у розвитку конкретного стартапу. Це також і ризикована доріжка, оскільки містить в собі невизначеність. Він побудований на основі гіпотез, а саме тому його довговічність є невизначеною. Тут є великі ризики, тому розробка бізнес-плану має відбуватись на високому рівні. Але найголовніший фактор, який відзначає певний стартап від іншого – затребуваність на ринку та у виробництві.

З огляду на вищезазначені фактори ми завжди маємо реально оцінювати можливість реалізації ідеї. А також зважаючи на інші важливі бар'єри, такі як:

1. Економічна стабільність країни, де впроваджується стартап ідея;
2. Умови кредитування;
3. Пошук та залучення інвесторів;
4. Жорстка конкуренція на ринку;

5. Неналагоджена система партисипативного управління;
6. Інше.

## 4.2 Опис ідеї стартап-проекту

Верстати з ЧПК використовуються на 40-60% від своїх можливостей, через проблему стабілізації процесу різання.

Основна ідея стартап-проекту полягає в використанні методу управління за поточною інформацією, тобто за каналом управління подачею та зворотним зв'язком з датчика сили різання. Для стабілізування процесу різання та підтримки якості поверхні на необхідному рівні використовується алгоритм, що враховує математичну модель процесу фрезерування.

Таблиця 4.1- Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Стабілізація процесу різання	Підвищення продуктивності	Менший час обробки
	Захист інструмента	Більший час використання інструмента

Наразі існують продукти, які вирішують цю проблему, але їх вартість занадто висока для нашого ринку, а технологія їх роботи залишається загадкою. Продукт моделює процес фрезерування по опукло-увігнутому контуру та визначає величину подачі для стабілізування сили різання. Також розроблена можливість відстежувати якість поверхні (шорсткість) при моделюванні.

## 4.3 Організаційна структура проекту. Декомпозиція проекту.

**Перелік посадових осіб, що задіяні у проекті:**

- Науковий керівник
- Студент

### Схема внутрішньої організаційної структури невеликих проектів

#### Перелік робіт за проектом:

1. Планування робіт
2. Розробка ТЗ на проект
3. З'ясування ТЗ
4. Створення проекту
5. Створення математичної моделі
6. Технологічна підготовка виробництва
7. Випробування
8. Завершення проекту

Таблиця 4.2- Матриця відповідальності проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»

ВВ	Планування робіт	Розробка ТЗ на проект	З'ясування ТЗ	Створення проекту	Створення математичної моделі	Технологічна підготовка виробництва	Випробування	Завершення проекту
Науковий керівник	<i>P/+</i>	<i>P/+</i>	<i>P/+</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	+
Студент		<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S/+</i>	<i>S/+</i>	<i>S/+</i>	<i>S/+</i>	

Умовні позначення:



*P* — первинна відповідальність; *S* — другорядна відповідальність; + — особа, що виконує роботу

#### **4.3 Керівник проекту**

**Функції керівника проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»:**

1. Формування календарного графіку виконання робіт за проектом;
2. Координація усіх учасників проекту, у т.ч. взаємодія з керівництвом компанії;
3. Контроль офіційного оформлення документів на продукт.
4. Проведення регулярних нарад із зовнішніми учасниками проекту про хід реалізації проекту;

**Компетенції керівника проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»:**

1. Знання в галузі управління проектами.
2. Знання в галузі технології машинобудування.
3. Знання в галузі менеджменту та управління персоналом.
4. Знання законодавчих, нормативно-правових і нормативних актів, норм і правил.
5. Результативний досвід управління проектами.

#### **4.4 Ієрархічна структура розбиття робіт проекту "Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням "**

- 1.

1.1 Визначення переліку робіт та переліку учасників команди

1.2 Залучення учасників команди

**2.**

2.1 Визначення переліку параметрів задач, які повинен вирішити алгоритм

2.2 Розробка ТЗ

**3.**

3.1 З'ясування переліку параметрів з ТЗ

3.2 Видача завдання

**4.**

4. Створення проекту

**5.**

5.1 Створення математичної моделі

**6.**

6.1 Технологічна підготовка виробництва

6.1.1 Розробка технологічної документації

6.1.2 Розробка нормативів, документація

6.2 Видалення засобів технологічного спорядження, установок, верстатів

**7.**

7.1 Випробування

## 7.2 Оформлення документації

## 8.

### 8.1 Оцінка ефективності реалізації проекту

### 8.2 Розформування команди

### 8.3 Збереження інформації щодо проекту

## 4.4 Календарний план проекту

*Таблиця 4.3- Календар проектних робіт проекту " Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням "*

Код роботи	Зміст роботи (назва)	Тривалість, роб.дн.	Календар робіт (дата початку / дата кінця)
01	Планування робіт	1	10.05.2021-11.05.2021
02	Розробка ТЗ	1	11.05.2021-12.05.2021
03	З'ясування ТЗ	1	12.05.2021-13.05.2021
04	Створення проекту	1	13.05.2021-14.05.2021
05	Створення математичної моделі	2	14.05.2021-16.05.2021
06	Технологічна підготовка виробництва	1	16.05.2021-17.05.2021

Продовження таблиці 4.3- Календар проектних робіт проекту " Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням

07	Випробування	1	17.05.2021-18.05.2021
08	Завершення проекту	0,5	18.05.2021-18.05.2021

Таблиця 4.4 - Діаграма Гантта проекту " Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням "

Робота	Показник	Поточна дата								
		10.05	11.05	12.05	13.05	14.05	15.05	16.05	17.05	18.05
1	План									
	Факт									
2	План									
	Факт									
3	План									
	Факт									

Продовження таблиці 4.4 - Діаграма Гантта проекту " Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням "

4	План									
	Факт									
5	План									
	Факт									
6	План									
	Факт									
7	План									
	Факт									
8	План									
	Факт									

#### 4.5 Витрати на проект. Кошторис та бюджет проекту

Структура витрат проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»

1. Витрати на оплату праці

2. Витрати на утримання устаткування і експлуатацію приміщень  
(закладено в інші витрати)

3. Накладні та управлінські витрати (закладено в інші витрати)

4. Виплати і податки (закладено в інші витрати)

Таблиця 4.5 - Кошторис витрат проекту

Код роботи	Опис	Витрати на оплату праці, \$	Інші витрати, \$	Загалом, \$
01	Планування робіт	150	1,5	151,5
02	Розробка ТЗ на проект	150	3	153
03	З'ясування ТЗ	150	1,5	151,5
04	Створення проекту	150	---	150
05	Створення математичної моделі	150	3	153
06	Технологічна підготовка виробництва	300	140	440
07	Випробування	150	---	150

Продовження таблиці 4.5 - Кошторис витрат проекту

08	Завершення проекту	75	6	81
	<b>Загалом</b>	<b>1275</b>	<b>155</b>	<b>1430</b>

#### 4.6 Управління командою проекту

Основні заходи з управління командою проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»

1. Обговорення теми роботи (консультації).
2. Проведення планових зборів з оцінкою поточної діяльності, демонстрацією успіхів та проблем роботи команди, обговоренням та вирішенням конфліктних питань.
3. Проведення планових зборів з постановкою індивідуальних та колективних задач, прийняттям та оцінкою результатів, вирішенням конфліктних питань.
4. Проведення індивідуальних зустрічей "Науковий керівник-студент" з вирішенням конфліктних питань.

#### 4.7 Реєстр ризиків проекту. План управління ризиками

Таблиця 4.6 - Реєстр ризиків проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»

Подія	Відповідальний	Вірогідність події	Вплив події	Величина ризику (вірогідність x вплив)
Помилковість у розробці	Студент	0,3	0,6	0,18
Помилка у математичній моделі	Науковий керівник	0,1	0,4	0,04
Неплатоспроможність замовника	Науковий керівник	0,1	0,3	0,03
Середній рівень				0,08

Резерв коштів = Сер.рівень ризику X Загальні витрати за проектом

Резерв коштів = 0,08 x 1430\$ = 114,4\$

#### 4.8 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Ринок часто диктує свої правила. Тож аби впровадити власну бізнес ідею необхідно оцінити та врахувати стан його середовища, провести оцінку клієнтських потреб та потенційного попиту на новий продукт, проаналізувати



існуючі конкурентні пропозиції. Тож вивчення ринкових можливостей є важливим етапом перед самим впровадженням стартап-проекту на ринок.

Тож надалі визначаємо групи клієнтів, які є потенційними з врахуванням їх характеристик. Відповідно до цього формуємо кожній групі орієнтовний склад вимог товару (табл. 4.7).

*Таблиця 4.7 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту*

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба, що задає тенденції у формуванні ринку</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності поведінки різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
<i>1</i>	<i>Використання максимальної потужності верстату</i>	<i>Виробництва</i>	<i>Вимога до стабілізації сили різання</i>	<i>Сталість роботи</i>
<i>2</i>	<i>Виготовлення деталей заданої якості</i>	<i>Виробництва</i>	<i>Вимога до шорсткості поверхні</i>	<i>Дотримання шорсткості не вище заданого рівня</i>

Подальші дії після складання потенційних груп клієнтів, ми аналізуємо ринкове середовище за допомогою таблиці факторів. Фактори розподіляються наступним чином: ті, що сприяють впровадженню стартапу, та ті, що є бар'єрами у їх впровадженні (табл. 4.8-4.9).

Таблиця 4.8 – Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
<i>1</i>	Економічне падіння країни	Зниження доходів підприємств, які є основними партнерами	Зниження собівартості продукту
<i>2</i>	«Інвестиційна імпотенція»	Неможливість знайти інвесторів для впровадження та виготовлення продукту	Зміна плану або ринку впровадження продукту

Таблиця 4.9 – Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
<i>1</i>	Партиципація	Залучення потужностей зацікавлених інвесторів для виготовлення продукту	Зменшення витрат на виготовлення продукту

Продовження таблиці 4.9 – Фактори можливостей

2	Розвиток інноваційних парків	Зменшення затрат на пошук інвесторів, існування з інвесторами в єдиній системі інфраструктури	Співпраця з інвесторами на більш вигідних умовах
---	---------------------------------	---	---

Таблиця 4.10 – Ступеневий аналіз конкуренції ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>Прояв даної характеристики</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства або можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною</i>
Конкурентний тип	Олігополія	Наймання на роботу більш кваліфікованих робітників
Рівень конкурентної боротьби	Глобальний рівень	Збільшення якості та надійності продукту в умовах міжнародної сертифікації
Галузева ознака	Внутрішньогалузева	Застосування продукту можливе лише на верстатах з ЧПК

Продовження таблиці 4.10 – Ступеневий аналіз конкуренції ринку

Конкуренція завидами товарів	Товарно-видова	Слідкування за ринком для відстеження продуктів- аналогів
Характер конкурентних переваг	Цінова	Система знижок та якісного обслуговування постійних клієнтів
Інтенсивність	Немарочна	З продукту планується розвинути особистий бренд

Уточнюючий аналіз конкуренції проводимо за моделлю 5 сил М. Портера, який визначає умови конкуренції в галузі (табл.4.11).

Таблиця 4.11 – Аналіз конкуренції в галузі з М. Портером

Складові аналізу	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари- замінники</i>
	Кокурент 1; Конкурент 2; Конкурент 3	Авторитет виробників та злагоджені механізми збуту	Постачальники відсутні	Гнучке ціноутворення	Висока ціна аналогів

Продовження таблиці 4.11 – Аналіз конкуренції в галузі з М. Портером

Висновки:	Конкуренція на середньому рівні	Авторитет виробників дозволяє вихід на ринок	Відсутність стороннього впливу	Комфортна система цін та сервісна підтримка споживачів	Негативний вплив від аналогів через авторитет виробників аналогів
-----------	--	--	--------------------------------------	--	---

Можна зробити висновок, що продукт має всі шанси виходу на ринок.

Беручи за основу аналізу, що приведені в табл. 4.6, табл. 4.7, табл. 4.8, табл. 4.9. з'ясовуємо й обґрунтовуємо склад список факторів, що впливають на конкурентоспроможність (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, які роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
<i>1</i>	Створення штучного інтелекту для обробки матеріалів різаннями	Удосконалення продукту

Продовження таблиці 4.12 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

2	Збільшення кількості споживачів	Збільшення прибутку
3	Здобуття авторитету на ринку збуту	Можливості для подальшого дослідження та удосконалення продукту
4	Висока ціна аналогів	Збільшення попиту на ринку
5	Участь на виставках мехонаобробної тематики	Збільшення клієнтів

За факторами, що ми визначили в табл. 4.12. проводимо аналіз стартапу на сильні та слабкі сторони, що є заключною частиною ринкового аналізу можливості впровадження бізнес проекту.

SWOT-аналіз дає нам змогу комплексно оцінити ринкові можливості стартап проекту. За його допомогою створюється можливість розробити ту стратегію, яка буде суттєво відрізнятись від стратегій конкурентів. Даний аналіз включає в себе: сили, слабкості, можливості, загрози, а відповідно до розшифровки: Strength, Weak, Troubles, Opportunities. Сильні та слабкі сторони ми можемо контролювати, на відміну від можливостей та загроз за які відповідають зовнішні фактори Але на останні ми можемо впливати. Отже при чіткому розумінні сторін ми можемо застосовувати найбільш раціональні можливості та впливати на можливі загрози (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - SWOT-аналіз проекту «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням»

<i>Сили</i>	<i>Слабкості</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Компетентна команда</li> <li>2. Якісна продукція</li> <li>3. Технологічна перевага</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недолік практичних навичок</li> <li>2. Недостатній досвід роботи в сфері проекту</li> <li>3. Доступ до дослідницьких лабораторій</li> </ol>
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Продуктивність при обробленні габаритних деталей</li> <li>2. Керування процесом за заданим алгоритмом</li> <li>3. Використання верстату на вищому рівні потужності</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проблеми з реалізацією ідеї</li> <li>2. Оформлення патенту</li> <li>3. Технічна реалізація</li> </ol>

Аналіз факторів можливостей та загроз в середовищі маркетингу дав нам перелік можливих загроз та можливостей на ринку. Наслідки впливу факторів або прогнозовані результати представлені силами та можливостями, а отже є тільки можливим сценарієм розвитку проекту. Тож завдяки цьому ми можемо розробити стратегію дій на уникнення можливих загроз та привертання можливостей до стартапу. Відповідно завдяки SWOT-аналізу ми

можемо проаналізувати ситуацію на ринку та ставити конкретні задачі при розробці стартап-проекту.

#### **4.9 Висновки**

З проведеного аналізу стартап-проекту робим висновок, що представлений продукт є актуальним на ринку. Технологія доволі невисоко затратна, що дає змогу розширити кількість клієнтів за короткий час.

Розвиток цього стартап-проекту залежить від економічної ситуації в країні, але завжди є можливість вийти на глобальний ринок.



## **ВИСНОВКИ**

Під час виконання магістерської дисертації на тему «Адаптивне управління контурним 2,5D фрезеруванням» було:

1. Розроблено програму моделювання процесу фрезерування опукло-увігнутого контуру.
2. Досліджено вплив керування подачею на силу різання.
3. Досліджено вплив керування подачею на висоту гребінця.

## Список використаних джерел

1. Балакшин Б.С. (ред.) Адаптивное управление станками / М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
2. Петраков Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. – УкрНДІАТ, Київ, 2004. – 336 с.
3. Петраков Ю. В., Писаренко В. В. Підготовка програми шліфувального верстату з ЧПУ для виготовлення штучного суглоба людини // сб. ДонНТУ Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – 2010. - Вип. 40. - С. 200 - 205.
4. Системы адаптивного регулирования и мониторинга для металлообрабатывающих станков с CNC / <http://www.omotive.com/173890/ACM>.
5. Петраков Ю.В. Развитие САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ: Монографія. – К.: Січкап, 2011. – 220с.
6. MARPOSS adaptive control for monitoring systems / <https://www.marposs.com/eng/product/adaptive-control-for-monitoring-systems>
7. Adaptive control- SORALUCE / <https://www.soraluce.com/en/adaptive-control>
8. Siemens-AMC <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik/digitalization/manufacturing/adaptive-control-and-monitoring.html>
9. TMAC <https://www.caroneng.com/products/tmac-tool-monitoring-adaptive-control>
10. Петраков Ю. В., Мацківський О. С. Забезпечення якості регулювання системи адаптивного управління фрезеруванням на верстаті з ЧПК / Вісник Житомирського державного технологічного університету, серія Технічні науки. – 2015. - № 2 (73). - С. 81 - 85.
11. Кожевников Д. В., Кирсанов С. В. Резание материалов. Учебник (гриф УМО). М.:Машиностроение. 2007. 304 с.

12. Студенческая научная весна 2011: Машиностроительные технологии. Виноградов Д.В., Тиханова А.А. Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании.

13. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання: Навчальний посібник для студентів, що навчаються за напрямом «Інженерна механіка». – Київ: Політехніка, 2006. -с

14. Управління проектами у наукоємному машинобудуванні: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. Г. Кривова, С. І. Трубочев. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 100 с.

15. Теоретические основы базирования деталей и расчета размерных цепей при механической обработке: Учебное пособие. Компьютерная версия. — 2-е изд., перераб. и доп. / С.Н. Корчак, В.И. Гузеев, Г.И. Буторин, В.Н. Выбойщик, В.Л. Кулыгин, В.Ю. Шамин; Под общ. ред. В.И. Гузеева. — Челябинск: ЮУрГУ, 2006. — 144 с. <https://studfile.net/preview/393979/>

16. Обработка лопатки турбины на обрабатывающем центре CHIRON // <https://www.youtube.com/watch?v=k7JJv8T19io>

17. Complex Aircraft Parts Machined to the Highest Standards // <http://www.owensind.com/IndustriesServed/Aircraft>

18. Сысоев Ю.С., Томилин С.А. Базирование заготовок крупногабаритных цилиндрических деталей для обработки резанием / Известия вузов. Машиностроение №1, 2004.- С.53-58. <https://cyberleninka.ru/article/n/bazirovanie-zagotovok-krupnogabaritnyh-tsilindricheskih-detaley-dlya-obrabotki-rezaniem>

19. Адаптивная обработка от компании Delcam plc как интеграция механообработки и контроля точности изготовления изделий / САПР и графика, №1, 2008.- С. 17-20. <https://sapr.ru/article/19015>

20. Petrakov Y., Shuplietsov D. Programming of adaptive machining for end milling // Mechanics and Advanced Technologies #1 (79), 2017, pp 34-40

<https://www.researchgate.net/publication/322092320> Programming of adaptive  
machining for end milling